



19 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

12 Off nlegungsschrift  
10 DE 198 19 762 A 1

21 Aktenzeichen: 198 19 762.4  
22 Anmeldetag: 4. 5. 98  
43 Offenlegungstag: 25. 11. 99

51 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
G 01 B 9/02  
G 01 B 11/00  
G 01 J 9/04  
G 01 N 21/45  
// G 01 B 11/30, G 02 B  
27/48

DE 198 19 762 A 1

71 Anmelder:  
Robert Bosch GmbH, 70469 Stuttgart, DE  
74 Vertreter:  
Jeck . Fleck . Herrmann Patentanwälte, 71665  
Vaihingen

72 Erfinder:  
Drabarek, Pawel, Dr., 75233 Tiefenbronn, DE;  
Duvoisin, Marc-Henri, Prévéranges, CH; Marchal,  
Dominique, Vallorbe, CH; Thominet, Vincent,  
Echandens, CH

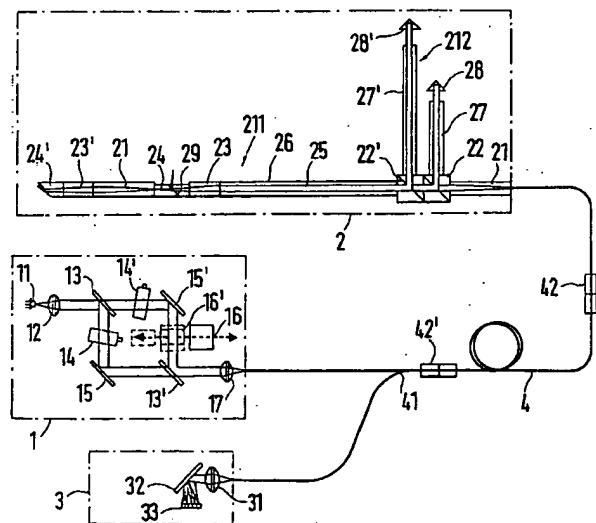
56 Entgegenhaltungen:  
DE 1 95 20 305 C2  
DE 43 36 318 A1  
DE 41 08 944 A1  
DE 39 06 118 A1  
EP 01 26 475 B1  
DE-Z.: ULRICH, R., KOCH, A.: Faseroptischer  
Antastensor für raue Oberflächen, in: Fein-  
werktechnik und Meßtechnik F & M, 100 (1992) 11,  
S.521-524;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

54 Interferometrische Meßeinrichtung

57 Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Meßeinrichtung zum Erfassen der Form, der Rauheit oder des Abstandes von Oberflächen. Die interferometrische Meßeinrichtung weist ein Modulationsinterferometer (1) auf, in dem zwei Teilstrahlen gebildet werden, von denen der eine gegenüber dem anderen mittels einer Modulationseinrichtung (14, 14') in seiner Licht-Phase oder Licht-Frequenz verschoben ist. Mit einer an das Modulationsinterferometer (1) angeschlossenen Meßsonde (2), in der ein Meßstrahl und ein Referenzstrahl gebildet werden, wird die Oberfläche vermessen und aus dem Meßstrahl und dem Referenzstrahl ein Interferenzmuster gebildet, das in einer angeschlossenen Empfängereinheit (3) ausgewertet wird. Ein kompakter, auch in einem Fertigungsprozeß leicht zu handhabender Aufbau wird dadurch erzielt, daß das als Baueinheit aufgebaute Modulationsinterferometer (1) von der Meßsonde (2) räumlich getrennt und über eine Lichtleitfaseranordnung (4) mit dieser koppelbar ist und daß der Meßzweig (211) und der Referenzzweig (212) durch den Meßstrahl und den Referenzstrahl leitende Festkörper gebildet sind (Fig. 2).



DE 198 19 762 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf eine interferometrische Meßeinrichtung zum Erfassen der Form, der Rauheit oder des Abstandes von Oberflächen mit einem Modulationsinterferometer, das eine räumlich kohärente Strahlungsquelle und einen ersten Strahlteiler zum Aufteilen von deren Strahlung in zwei Teilstrahlen aufweist, von denen der eine gegenüber dem anderen mittels einer Modulationseinrichtung in seiner Licht-Phase oder Licht-Frequenz gegenüber dem anderen verschoben ist und anschließend die beiden Teilstrahlen vereinigt sind, mit einer Meßsonde, in der die vereinigten Teilstrahlen in einen durch einen Meßzweig geführten und an der Oberfläche reflektierten Meßstrahl sowie einen durch einen Referenzzweig geführten und darin reflektierten Referenzstrahl aufgeteilt werden und in der der reflektierte Meßstrahl mit dem reflektierten Referenzstrahl überlagert wird, und mit einer Empfängereinheit zum Aufspalten der überlagerten Strahlung in mindestens zwei Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Umwandeln der Strahlung in elektrische Signale und zum Auswerten der Signale auf der Grundlage einer Phasendifferenz.

Eine derartige interferometrische Meßeinrichtung ist in der EP 0 126 475 B1 als bekannt ausgewiesen. Bei dieser bekannten Meßeinrichtung werden raue Oberflächen eines Meßobjektes interferometrisch ausgemessen, wobei eine Strahlerzeugungseinheit mit Laserlichtquellen verwendet wird, die Licht unterschiedlicher Wellenlängen abgeben. Mittels eines Strahlteilers wird das Laserlicht in einen Referenzstrahl eines Referenzstrahlenganges und einen Meßstrahl eines Meßstrahlenganges aufgeteilt. Der Meßstrahlengang trifft auf die zu vermessende Oberfläche, während der Referenzstrahlengang an einer Referenzfläche z. B. in Form eines Spiegels reflektiert wird. Das von der Oberfläche und der Referenzfläche reflektierte Licht wird im Strahlteiler vereinigt und mit Hilfe einer Linse in eine Interferogrammebene fokussiert, in der ein Speckle-Muster auftritt. Dieses Speckle-Muster wird zur Bestimmung der Oberflächenform ausgewertet, wobei eine Phasendifferenz der Interferogrammphasen im Meßpunkt bestimmt wird. Zur Vereinfachung der Auswertung wird ein Heterodyn-Verfahren angewendet, wobei die Frequenz des Referenzstrahles um eine Heterodyn-Frequenz mittels einer Frequenzverschiebungseinrichtung im Referenzstrahlengang gegenüber der Frequenz des Meßstrahles verschoben wird. Mit dieser Meßeinrichtung können Oberflächenformen fein aufgelöst werden. Jedoch sind die Justierung und Handhabung beispielsweise für einen Einsatz in der industriellen Fertigung aufwendig.

Eine weitere interferometrische Meßeinrichtung ist in der DE 39 06 118 A1 angegeben, bei der zwischen mehreren Laserlichtquellen und einem Meßabschnitt Lichtleitfasern vorgesehen sind. Auch hierbei wird zum Bestimmen der Oberflächenstrukturen eine Phasendifferenz ausgewertet. Hinsichtlich der Handhabung und Justierung an schwer zugänglichen Stellen ist auch dieser bekannte Aufbau ungünstig.

Wesentlich günstiger für den praktischen Einsatz beispielsweise in einem Fertigungsprozeß ist eine in der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung 198 08 273.8 angegebene weitere interferometrische Meßeinrichtung, die ein Modulationsinterferometer und eine davon räumlich getrennte, mittels einer Lichtleitfaseranordnung angekoppelte Meßsonde aufweist. Günstig sind hierbei insbesondere eine zeitlich kurzkohärente Strahlungsquelle des Modulationsinterferometers, wodurch eine stabile, gut auswertbare Strahlung erhalten wird, sowie ein re-

lativ kompakter Aufbau der Meßsonde. Allerdings ist die dabei noch zu beachtende Anordnung der Meßsonde gegenüber der Oberfläche des Meßobjektes noch mit einigen Justagemaßnahmen verbunden, die eine Vereinfachung wünschenswert machen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine interferometrische Meßeinrichtung der eingangs angegebenen Art bereitzustellen, die bei verhältnismäßig einfachem, kompaktem Aufbau eine vereinfachte Handhabung ergibt.

Diese Aufgabe wird mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Hiernach ist vorgesehen, daß das als Baueinheit aufgebaute Modulationsinterferometer von der Meßsonde räumlich getrennt und über eine Lichtleitfaseranordnung mit dieser koppelbar ist und daß der Meßzweig und der Referenzzweig durch den Meßstrahl und den Referenzstrahl leitende Festkörper gebildet sind.

Die räumlich von dem als Baueinheit aufgebauten Modulationsinterferometer mittels der Lichtleitfaseranordnung getrennte Meßsonde ist ihrerseits durch den Aufbau des Meßzweiges und des Referenzzweiges als Festkörper kompakt und damit gut handhabbar und bezüglich des Meßobjektes einfach justierbar ausgebildet. Auch ist die Justierung des Referenzzweiges und des Meßzweiges der Meßsonde relativ zueinander und bezüglich der interferometrischen Meßeinrichtung wegen der eindeutigen Positionierung der einzelnen Elemente einfach.

Ist der Aufbau derart, daß am Eingang der Meßsonde eine Kollimatoreinrichtung und am Ausgang des Meßzweiges eine Fokussiereinrichtung und ein dieser nachgeschaltetes Ablenkelement zum Auskoppeln und wieder Einkoppeln des zu der zu vermessenden Oberfläche gerichteten und von dieser reflektierten Meßstrahls vorgesehen sind, so werden einerseits zur Bildung des Interferenz-Musters ein günstiger Meßstrahl und Referenzstrahl erhalten, und andererseits wird der Meßstrahl durch das Ablenkelement auch bei einer schräg zur Richtung des Meßzweiges gerichteten zu vermessenden Oberfläche senkrecht zu diesem ausrichtbar, so daß eine zuverlässige Vermessung der Oberfläche erzielt wird. Dabei besteht eine vorteilhafte Ausbildung darin, daß die Kollimatoreinrichtung und/oder die Fokussiereinrichtung eine GRIN-Linse ist/sind.

Mit den Maßnahmen, daß einer der beiden Teilstrahlen in dem Modulationsinterferometer ein Verzögerungselement durchläuft, das eine Differenz der optischen Weglängen der beiden Teilstrahlen erzeugt, die größer ist als die Kohärenzlänge von der kurzkohärenten Strahlungsquelle abgegebene Strahlung, und daß in dem Meßzweig bezüglich des Referenzzweiges eine weitere Differenz der optischen Weglängen erzeugt wird, mit der die durch das Verzögerungselement erzeugte Differenz der optischen Weglängen kompensiert wird, wird ein Interferieren der beiden Teilstrahlen vor dem Eintritt in die Meßsonde vermieden und erst nach der Reflexion an der Oberfläche bzw. in dem Referenzzweig zustandekommt und ein Kohärenzmultiplex ermöglicht wird.

Mehrere Abschnitte der zu vermessenden Oberfläche bzw. mehrere getrennte Oberflächen können ohne Umpositionieren der Meßsonde dadurch schnell und sicher vermessen werden, daß der Meßzweig mindestens ein weiteres Ablenkelement aufweist, mit dem der in dem Meßzweig geführte Meßstrahl aufgespalten und auf eine weitere Stelle der zu vermessenden Oberfläche gerichtet und der von dieser reflektierte Meßstrahl wieder in den Meßzweig eingekoppelt wird. Dabei bestehen zwei verschiedene Aufbaumöglichkeiten darin, daß in dem Modulationsinterferometer mittels austauschbarer, unterschiedlicher Verzögerungselemente unterschiedliche optische Weglängen vorgebar sind, und daß die kompensierende Differenz der optischen Weglängen durch Verstellen eines Reflexions- oder Umlenke-

menten des Referenzzweiges oder durch den einzelnen abgspalteten Meßstrahlen jeweils zugeordnete separate Referenzzweige in Abstimmung auf die unterschiedlichen Verzögerungselemente gebildet ist. Sind separate Referenzzweige vorgesehen, so ergibt sich unter Zuordnung zu dem entsprechenden Verzögerungselement ohne weitere Einstellung durch Kohärenzmultiplex die gewählte Meßstelle der Oberfläche eindeutig. Aber auch die Verstellung der kompensierenden optischen Wegdifferenz des Meßzweiges bezüglich des Referenzzweiges mittels des Reflexions- bzw. Umlenkelementes des Referenzzweiges ist relativ einfach möglich.

Zwei unterschiedliche Aufbaumöglichkeiten für die Meßsonde bestehen darin, daß der Meßzweig und der oder die Referenzzweig(e) als getrennte Arme der Meßsonde nach Art eines Michelson-Interferometers (wie in Fig. 1 und 2 dargestellt) oder in einem gemeinsamen Arm nach Art eines Fizeau-Interferometers aufgebaut ist (wie in Fig. 3 dargestellt). Sind dabei der Meßzweig und der Referenzzweig in einem gemeinsamen Arm der Meßsonde ausgebildet, so ergibt sich eine besonders kompakte Bauweise der Meßsonde, die auch unter ungünstigen Platzverhältnissen eingesetzt werden kann.

Eine weitere Vereinfachung des Aufbaus der Meßeinrichtung wird dadurch erzielt, daß der zur Meßsonde hin und von dieser zurückgeleitete Strahl über eine gemeinsame monomode Lichtleitfaseranordnung geführt ist und daß der zur Empfängereinheit geführte Strahl aus der Lichtleitfaseranordnung mittels eines Abzweigstückes ausgekoppelt ist. Die Ankopplung der Meßsonde an das Modulationsinterferometer und die Empfängereinheit kann dabei auf einfache Weise mittels Steckverbindern erfolgen.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer interferometrischen Meßeinrichtung mit einer von einem Modulationsinterferometer räumlich getrennten Meßsonde,

Fig. 2 ein weiteres Ausführungsbeispiel der interferometrischen Meßeinrichtung mit mehreren Meßstrahlen und Referenzstrahlen und

Fig. 3 ein weiteres Ausführungsbeispiel der interferometrischen Meßeinrichtung, bei der der Meßzweig und der Referenzzweig anders ausgebildet sind.

Die in den Fig. 1 bis 3 gezeigten Ausführungsbeispiele einer interferometrischen Meßeinrichtung zum Erfassen der Form, der Rauheit oder des Abstandes von Oberflächen bestehen jeweils aus einem Modulationsinterferometer 1 und einer davon räumlich getrennten, über eine Lichtleitfaseranordnung 4 angekoppelten Meßsonde 2, sowie einer den daraus zurückgeführten Strahl aufnehmenden Empfängereinheit 3.

Das Modulationsinterferometer 1 weist eine Strahlungsquelle 11 vorzugsweise in Form einer kurzkohärenten breitbandigen Strahlungsquelle 11 mit einer kontinuierlichen Strahlungsverteilung einer Vielzahl unterschiedlicher Wellenlängen bei gleichzeitig guter räumlicher Kohärenz auf, wie z. B. eine Superlumineszenzdiode. Die Strahlung der Strahlungsquelle 11 wird mittels einer Kollimatorlinse 12 kollimiert und mittels eines ersten Strahlteilers 13 in zwei Teilstrahlen aufgeteilt, die jeweils durch akustooptische Modulatoren 14, 14' geführt und über Ablenkspiegel 15, 15' an einem zweiten Strahlteiler 13' wieder zusammengeführt werden, wobei einer der beiden Teilstrahlen über ein Verzögerungselement 16 bzw. 16' (vgl. Fig. 2 und 3) geführt wird. Die vereinigten Teilstrahlen gelangen über ein Objektiv 17 in die monomode Lichtleitfaseranordnung 4.

Die beiden Teilstrahlen werden mittels der akustoopti-

schen Modulatoren 14 bzw. 14' mit benachbarten, aber unterschiedlichen Frequenzen moduliert. Mittels des Verzögerungselementes 16 bzw. 16' wird eine optische Wegdifferenz der beiden Teilstrahlen in dem Modulationsinterferometer, beispielsweise des Mach-Zehnder-Typs, erzeugt, wobei das Verzögerungselement 16, 16' beispielsweise als Glasplatte einer bestimmten Dicke ausgebildet ist. Auf diese Weise sind die durch den z. B. als halbdurchlässige Scheibe ausgebildeten Strahlteiler 13' vereinigten Teilstrahlen als getrennte Wellenzüge mit zwei benachbarten, verschiedenen Frequenzen vorhanden und räumlich gegeneinander mit einer Länge verschoben, die oberhalb der Kohärenzlänge der Strahlungsquelle 11 liegt.

Die Meßsonde 2 gemäß den Fig. 1 und 2 ist als Interferometer des Michelson-Typs aufgebaut. Der über die monomode Lichtleitfaseranordnung 4 zugeführte vereinigte Lichtstrahl wird mittels einer Kollimatoreinrichtung 21 in Form eines Objektivs kollimiert, anschließend mittels eines dritten Strahlteilers 22 in einen Meßstrahl und einen Referenzstrahl aufgeteilt. Der Meßstrahl wird am ausgangsseitigen Ende eines den Meßstrahl führenden Meßzweiges 211 mittels einer Fokussiereinrichtung 23 in Form eines Objektivs fokussiert und am Ausgang des Meßzweiges 211 mittels eines Ablenkelementes 24 in Form eines Prismas in der Weise abgelenkt, daß die Achse des Strahlkegels am Ausgang des Prismas senkrecht auf die zu messende Oberfläche gerichtet wird. Die Einheit aus dem Prisma 24 und dem Objektiv 23 kann ausgetauscht werden, so daß Oberflächen anderer Kontur vermessen werden können. Die Kollimatoreinrichtung 21 am Eingang der Meßsonde 2 sowie die Fokussiereinrichtung 23 im Endbereich des Meßzweiges 211 sind vorzugsweise als GRIN (= grade-index)-Linse ausgebildet, die eine günstige Strahlführung bietet.

Der am dritten Strahlteiler abgetrennte Referenzstrahl wird in einem Referenzzweig 212 auf ein an dessen Ende vorgesehenes Reflektorelement 28 in Form eines Prismas geführt und dort umgelenkt, wobei das Prisma in Richtung der optischen Achse des Referenzzweiges 212 verstellt werden kann. Der Meßzweig 211, der den Meßstrahl als kollimierten Strahl 25 führt, weist an den dritten Strahlteiler 22 anschließend einen Meßstrahl-Leitkörper 26 in Form eines Festkörpers auf, während der Referenzzweig 212 einen Referenzstrahl-Leitkörper 27 bzw. 27' in Form eines weiteren Festkörpers aufweist.

Die Länge des kollimierten Strahles 25 in dem Meßzweig 211 und sein Durchmesser sind an die Abmessungen des Meßobjektes, beispielsweise der Tiefe und den Durchmesser einer zu vermessenden Bohrung angepaßt. Der Abschnitt, in dem der Strahl 25 kollimiert ist, kann als Glaszylinder ausgebildet sein, so daß die Meßsonde 2 kompakt ausgebildet ist.

Der Referenzstrahl durchläuft ein Medium 27 großer Dispersion, wie z. B. ein Glasstück, um die chromatische Dispersion des Meßzweiges 211 und des Verzögerungselementes 16 des Modulationsinterferometers 1 zu kompensieren. Der Referenzstrahl wird mittels des Reflektors 28, etwa einen Spiegel oder ein katadioptrisches Element zurückgeführt, wobei durch Verstellen des Reflektors 28 eine kompensierende optische Wegdifferenz zwischen dem Meßzweig 211 und dem Referenzzweig 212 justierbar ist, die die durch das Verzögerungselement 16 erzeugte optische Wegdifferenz ausgleicht.

Der über den Meßzweig 211 zurückgeführte Meßstrahl und der über den Referenzzweig 212 zurückgeführte Referenzstrahl interferieren an dem dritten Strahlteiler 22 und werden über die Lichtleitfaseranordnung 4, die auch zur Zuleitung des vereinten Strahls zu der Meßsonde 2 dient, zurückgeführt und über ein Abzweigstück 41 zur Empfänger-

einheit 3 geleitet. Die Lichtleitfaseranordnung 4 kann dabei mittels Steckverbinder 42, 42' mit der Meßsonde 2 einerseits und dem Modulationsinterferometer 1 sowie der Empfängereinheit 3 andererseits gekoppelt werden. Die Steckverbinder des Modulationsinterferometers 1, der Meßsonde 2 und/oder der Empfängereinheit 3 können dabei als entsprechende Buchse unmittelbar an dem Gehäuse angeordnet sein.

Das Aufnahmeobjektiv 31 der Empfängereinheit 3 bewirkt, daß die Austrittsfläche der monomodalen Lichtleitfaseranordnung 4 nach Durchlaufen einer Strahlzerlegungseinheit 32 in die Ebene einer Fotoempfängereinheit 33 abgebildet wird. Jede Fotodiode empfängt also die Abbildung der Austrittsfläche der Lichtleitfaseranordnung mit einer gegebenen Wellenlänge.

Wie Fig. 2 zeigt, ist in dem Meßzweig 211 ein weiterer Strahlteiler 29 in Form eines Prismas angeordnet, mit dem ein weiterer Meßstrahl abgezweigt wird. Dieser besitzt gegenüber dem ersten, durchgehenden Meßstrahl einen unterschiedlichen Auskoppelwinkel, so daß Oberflächenbereiche unterschiedlicher Ausrichtung gleichzeitig vermessen werden können, wobei die Position der Meßsonde bezüglich des Meßobjektes beibehalten wird und keine zusätzlichen Justagearbeiten erforderlich sind. Bezüglich des weiteren Meßstrahls ergibt sich eine weitere optische Wegdifferenz zwischen dem Meßzweig 211 und dem Referenzzweig 212, die mittels eines Austausches des Verzögerungselementes 16 durch ein anderes Verzögerungselement 16' einer entsprechend angepaßten optischen Wegdifferenz ausgeglichen werden kann. Eine genaue Einstellung der kompensierenden optischen Wegdifferenz in der Meßsonde 2 kann dabei beispielsweise durch Verstellen des Reflektors 28 vorgenommen werden, so daß der abgespaltete Meßstrahl mit dem Referenzstrahl zur Interferenz gebracht wird. Die Meßstelle kann dabei durch das eingesetzte Verzögerungselement 16 bzw. 16' und den Kohärenzmultiplex identifiziert werden. Gemäß Fig. 2 ist aber zur Erzeugung einer auf das ausgetauschte Verzögerungselement 16' abgestimmten kompensierenden optischen Wegdifferenz ein zweiter Referenzzweig mit einem zweiten Referenzstrahl-Leitkörper 27' und einem zweiten Reflektor 28' gebildet, so daß sich zwei fest vorgegebene kompensierende optische Wegdifferenzen entsprechend den zwei Meßstrahlen bzw. Meßstellen abgestimmt auf die optischen Wegdifferenzen der Verzögerungselemente 16 bzw. 16' ergeben, wobei die kompensierenden Wegdifferenzen allenfalls noch durch eine Feinjustierung des Reflektors 28 bzw. 28' eingestellt zu werden brauchen. Zur Bildung der beiden Referenzzweige sind zwei dritte Strahlteiler 22 bzw. 22' vorgesehen.

Entsprechend können auch mehr Meßstrahlen durch weitere Strahlteiler 29 gebildet werden, wobei immer ein Teil des Meßstrahles durch den Strahlteiler 29 zu dem dahinter angeordneten Strahlteiler bzw. Ausgang des Meßzweiges 211 ohne Ablenkung durchgelassen wird. Die Anzahl der Referenzzweige entspricht dann vorzugsweise der Anzahl der gebildeten Meßstrahlen, und es sind auch entsprechend viele Verzögerungselemente in dem Modulationsinterferometer 1 vorhanden, so daß mittels Kohärenzmultiplex eine eindeutige Zuordnung zur Meßstelle gegeben ist.

Ein weiteres Ausführungsbeispiel der interferometrischen Meßeinrichtung ist in Fig. 3 gezeigt. Die Arbeitsweise entspricht dabei derjenigen gemäß Fig. 2. Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 2 ist die Meßsonde 2 als Interferometer des Fizeau-Typs ausgebildet, bei dem am Eingang der Meßsonde 2 beispielsweise nach einem Lichtleiter 26 in Form eines Glaszylinders wiederum eine GRIN-Linse 21 und entsprechend auch im Endbereich des Meßzweiges GRIN-Linsen 21, 23, 21' und 23' angeordnet sind.

Vor der Abkoppelstelle des ersten Meßstrahles ist im Bereich der Eingangs-GRIN-Linse ein teildurchlässiges optisches Element angeordnet, an dem ein Teil des in die Meßsonde 2 geführten Strahls reflektiert wird. In diesem teildurchlässigen Element erfolgt eine Interferenz mit dem an der im Strahlengang ersten Stelle abgezweigten und von der zu vermessenden Oberfläche zurücklaufenden Meßstrahl, wobei die optische Wegdifferenz zwischen dem Meßstrahl und dem an dem teildurchlässigen optischen Element gebildeten Referenzstrahl so groß ist, daß die Wegdifferenz des in dem Modulationsinterferometer 1 vorgesehenen Verzögerungselementes 16 kompensiert wird. Entsprechend ist auch in dem im Strahlengang hinter der Abzweigstelle des ersten Meßstrahles angeordneten GRIN-Linse ein teildurchlässiges optisches Element 28.1' angeordnet, an dem eine Interferenz in der vorstehend beschriebenen Weise mit dem über den Endbereich der Meßsonde 2 geführten Meßstrahl erzeugt wird. Die zwischen diesem weiteren teildurchlässigen optischen Element 28.1' und dem zugehörigen Meßstrahl gebildete kompensierende optische Wegdifferenz ist auf ein weiteres in dem Modulationsinterferometer 1 angeordnetes Verzögerungselement 16' abgestimmt. Auch bei diesem Aufbau der interferometrischen Meßeinrichtung können daher die Meßstellen aufgrund des eingesetzten optischen Verzögerungselementes 16 bzw. 16' in Folge Kohärenzmultiplex identifiziert werden.

Die teildurchlässigen optischen Elemente 28.1, 28.1' sind eben und senkrecht zur optischen Achse des Meßstrahls ausgebildet und sie können in einem Fokussierungspunkt 28 des optischen Strahls oder in einer Ebene angeordnet sein, in der der durch den Meßzweig 211 verlaufende Strahl kollimiert ist. Es kann ein einziger Referenzstrahl für alle Meßstrahlen (bzw. Auskoppelprismen der Meßstrahlen), also eine einzige reflektierende Fläche vorgesehen sein oder es können ebenso viele Referenzstrahlen wie Meßstrahlen bzw. Auskoppelprismen, also entsprechend viele reflektierende Flächen vorgesehen sein. Die Justierung des optischen Weges des Referenzstrahles läßt sich dadurch erzielen, daß die Dicke des Verzögerungselementes 16, 16' in dem Modulationsinterferometer 1 geändert wird. Die Änderung der Dicke kann z. B. durch Drehen der Glasplatte des Verzögerungselementes 16, 16' oder durch Austausch von zwei scheibenförmigen Glasplatten geschehen. Die Kompensation der chromatischen Dispersion kann dadurch erfolgen, daß in dem anderen Zweig des Modulationsinterferometers 1 eine Scheibe 18, 18' eines sehr dispersiven Materials, wie z. B. einer Glasplatte und gegebener Dicke eingesetzt wird. Um eine gegebene Oberfläche zu vermessen, genügt es, ein an das Profil der zu messenden Oberfläche angepaßtes Prisma zu verwenden und in dem Modulationsinterferometer 1 eine entsprechende Glasplatte als Verzögerungselement 18, 18' bzw. zur Kompensation der chromatischen Dispersion zu verwenden.

Die optische Strahlungsleistung des Meßstrahles in dem Meßzweig 211 ist in der Regel sehr viel geringer als die optische Strahlungsleistung des Referenzstrahles in dem Referenzzweig 212. Daher ist es vorteilhaft, den dritten Strahlteiler 22 bzw. 22' unsymmetrisch auszubilden, um eine vergrößerte Strahlungsleistung des zurückgeführten Meßstrahls zu erhalten, die derjenigen des Referenzstrahles vergleichbar ist.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 ist von Vorteil, daß außer der schlanken Form durch den in einem gemeinsamen Arm verlaufenden Meßzweig und Referenzzweig die Meßsonde 2 weniger empfindlich gegen Temperaturänderungen ist.

Ein Vorteil aller Ausführungsformen ist, daß die Einstell- und Regulierungseinrichtung der Meßsonde 2 in dem Mo-

dulationsinterferometer 1 von dieser getrennt ist. Dieselbe Einstell- und Regulierungsvorrichtung kann für eine große Anzahl von Meßsonden 2 verwendet werden, wodurch die Meßvorrichtung kostengünstig wird.

#### Patentansprüche

1. Interferometrische Meßeinrichtung zum Erfassen der Form, der Rauheit oder des Abstandes von Oberflächen

- mit einem Modulationsinterferometer (1), das eine räumlich kohärente Strahlungsquelle (11) und einen ersten Strahlteiler (13) zum Aufteilen von deren Strahlung in zwei Teilstrahlen aufweist, von denen der eine gegenüber dem anderen mittels einer Modulationseinrichtung (14, 14') in seiner Licht-Phase oder Licht-Frequenz verschoben ist und die anschließend vereinigt sind,
- mit einer Meßsonde (2), in der die vereinigten Teilstrahlen in einen durch einen Meßzweig (211) geführten und an der Oberfläche reflektierten Meßstrahl sowie einen durch einen Referenzzweig (212) geführten und darin reflektierten Referenzstrahl aufgeteilt werden und in der der reflektierte Meßstrahl mit dem reflektierten Referenzstrahl überlagert wird, und
- mit einer Empfängereinheit (3) zum Aufspalten der überlagerten Strahlung in mindestens zwei Strahlen mit unterschiedlichen Wellenlängen und Umwandeln der Strahlung in elektrische Signale und zum Auswerten der Signale auf der Grundlage einer Phasendifferenz,

**dadurch gekennzeichnet,**

daß das als Baueinheit aufgebaute Modulationsinterferometer (1) von der Meßsonde (2) räumlich getrennt und über eine Lichtleitfaseranordnung (4) mit dieser koppelbar ist und daß der Meßzweig (211) und der Referenzzweig (212) durch den Meßstrahl und den Referenzstrahl leitende Festkörper gebildet sind.

2. Meßeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß am Eingang der Meßsonde (2) eine Kollimatoreinrichtung (21) und am Ausgang des Meßzweigs (29) eine Fokussiereinrichtung (23) und ein dieser nachgeschaltetes Ablenkelement (24) zum Auskoppeln und wieder Einkoppeln des zu der zu vermessenden Oberfläche gerichteten und von dieser reflektierten Meßstrahls vorgesehen sind.

3. Meßeinrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Kollimatoreinrichtung (21) und/oder die Fokussiereinrichtung (23) eine GRIN-Linse ist/sind.

4. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß einer der beiden Teilstrahlen in dem Modulationsinterferometer (1) ein Verzögerungselement (16, 16') durchläuft, das eine Differenz der optischen Weglängen der beiden Teilstrahlen erzeugt, die größer ist als die Kohärenzlänge der von der kurzkohärenten Strahlungsquelle (11) abgegebene Strahlung, und daß in dem Meßzweig (211) bezüglich des Referenzzweiges (212) eine weitere Differenz der optischen Weglängen erzeugt wird, mit der die durch das Verzögerungselement (16, 16') erzeugte Differenz der optischen Weglängen kompensiert wird.

5. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßzweig (211) mindestens ein weiteres Ablenkelement

(29) aufweist, mit dem der in dem Meßzweig (211) geführte Meßstrahl aufgespalten und auf eine weitere Stelle der zu vermessenden Oberfläche gerichtet und der von dieser reflektierte Meßstrahl wieder in den Meßzweig (211) eingekoppelt wird.

6. Meßeinrichtung nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet,

daß in dem Modulationsinterferometer (1) mittels austauschbarer unterschiedlicher Verzögerungselemente (16, 16') unterschiedliche optische Weglängen vorgebar sind, und

daß die kompensierende Differenz der optischen Weglängen durch Verstellen eines Reflexions- oder Umlenkelementes (28, 28') des Referenzzweiges (212) oder durch den einzelnen abgespaltenen Meßstrahlen jeweils zugeordnete separate Referenzzweige in Abstimmung auf die unterschiedlichen Verzögerungselemente (16, 16') gebildet ist.

7. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßzweig (211) und der oder die Referenzzweig(e) (212) als getrennte Arme der Meßsonde (2) nach Art eines Michelson-Interferometers (Fig. 1 und 2) aufgebaut ist.

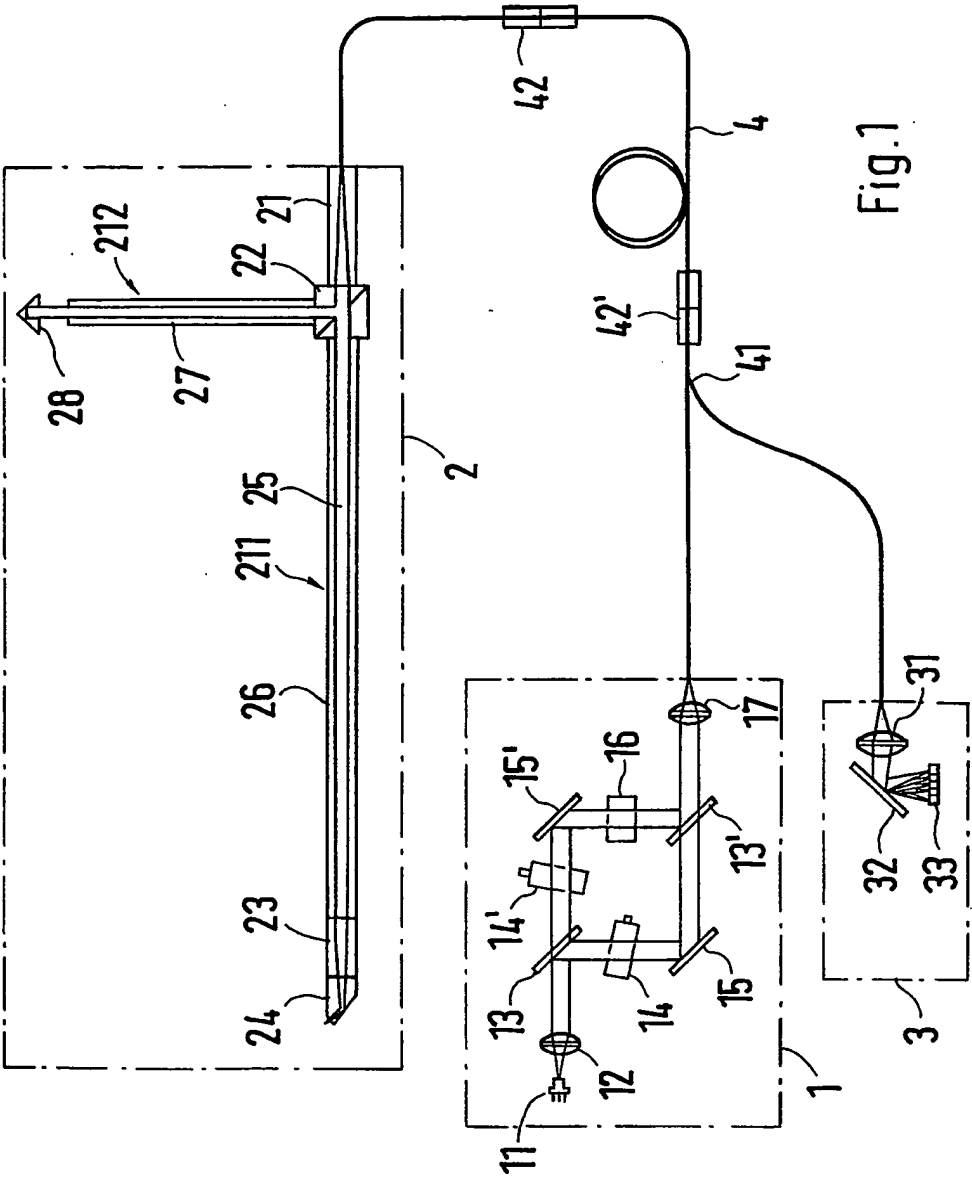
8. Meßeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Meßzweig (211) und der oder die Referenzzweig(e) (212) in einem gemeinsamen Arm nach Art eines Fizeau-Interferometers (Fig. 3) aufgebaut ist.

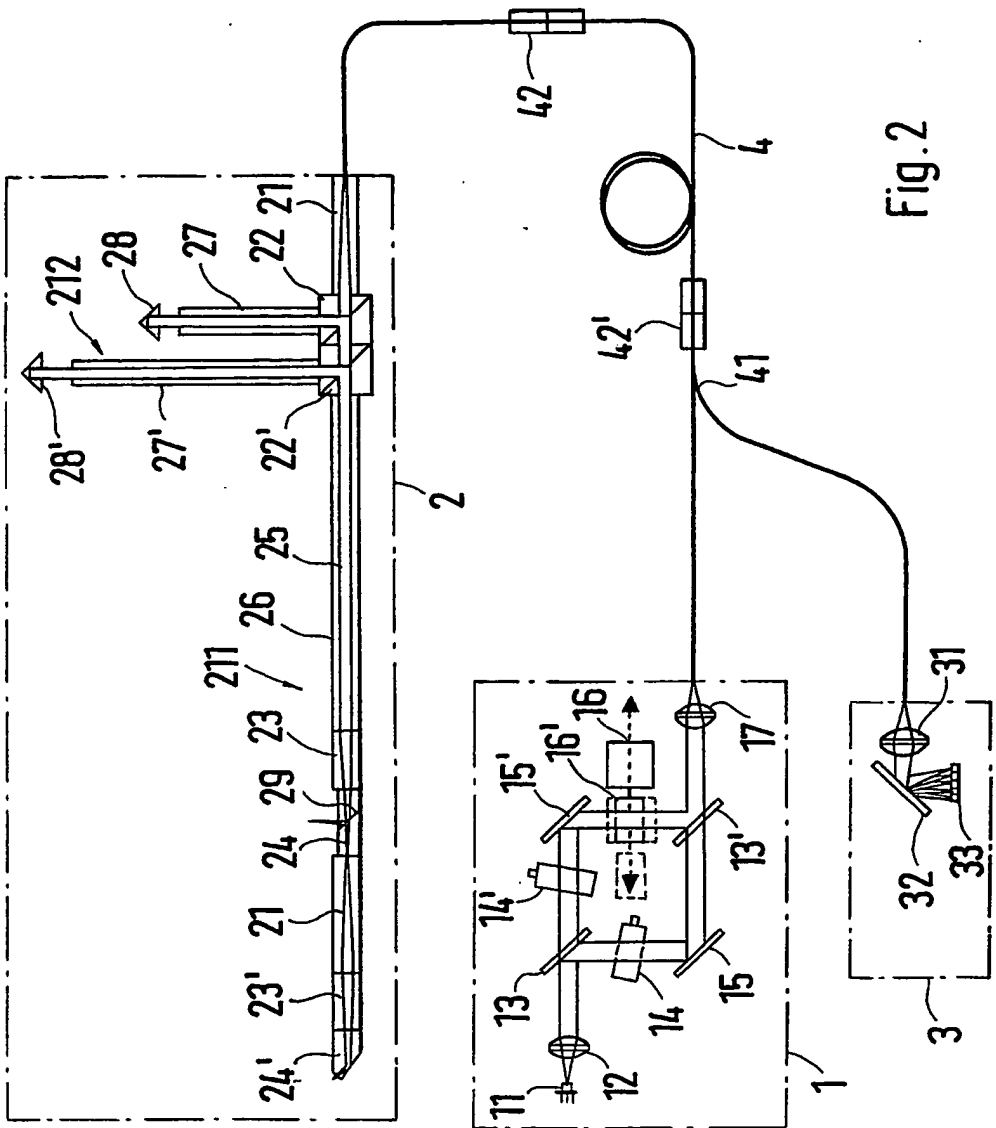
9. Meßeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der zur Meßsonde (2) hin und von dieser zurückgeleitete Strahl über eine gemeinsame monomode Lichtleitfaseranordnung (4) geführt ist und daß der zur Empfängereinheit (3) geführte Strahl aus der Lichtleitfaseranordnung (4) mittels eines Abzweigstückes (41) ausgekoppelt ist.

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---





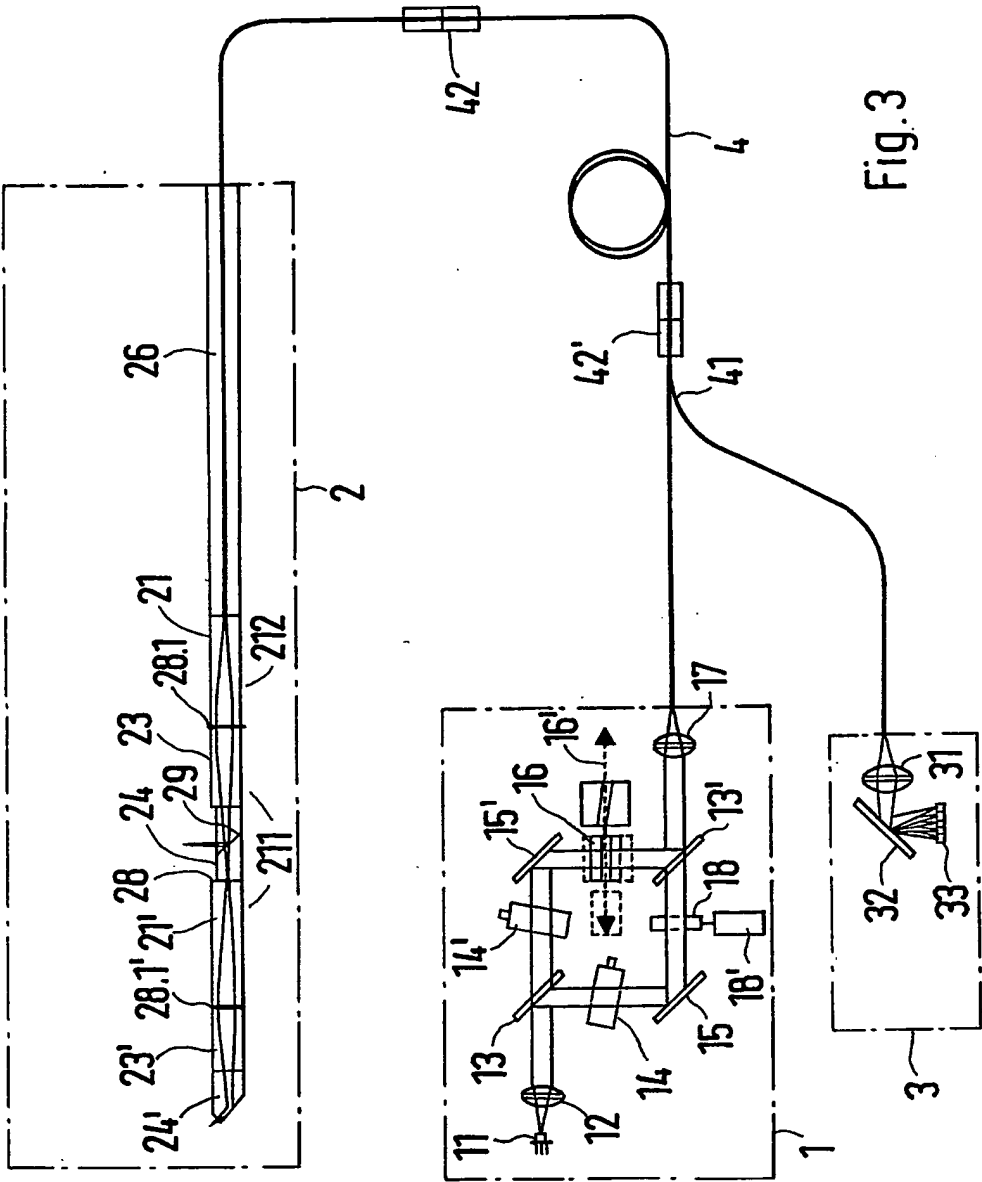


Fig. 3